

На правах рукописи



ЧУПИН Дмитрий Павлович

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Омск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ)

Научный руководитель: Кобенко Вадим Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технология электронной аппаратуры» ОмГТУ

Официальные оппоненты: Чуканов Сергей Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник Омского филиала
ФГБУН института математики им. С.Л. Соболева
СО РАН

Шахов Владимир Григорьевич
кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры «Автоматика и системы управления» ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ведущая организация: ОАО «Научно исследовательский институт
технологии, контроля и диагностики», г. Омск

Защита состоится «25» декабря 2014 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.178.01 при ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет» по адресу 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Омского государственного технического университета и на сайте <http://www.omgtu.ru/>.

Автореферат разослан « » ноября 2014 г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью, просим направить по адресу: 644050, Омск, пр. Мира, 11, Омский государственный технический университет, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.178.01.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.178.01
доктор технических наук, профессор



В. Л. Хазан

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время аккумуляторные батареи (АБ) широко применяются как источники питания портативных устройств, стартерные батареи в автотранспорте, источники бесперебойного питания и как аккумуляторы энергии в альтернативных энергетических установках (солнечные и ветровые электростанции). В каком бы приложении батарея не применялась, ее преждевременный отказ может повлечь последствия разной степени тяжести: от потери информации на персональном компьютере или остановки сложных технологических процессов на производстве до отключения систем жизнеобеспечения. В связи с этим возникает необходимость в получении оперативной и достоверной информации о текущем состоянии АБ для своевременной ее замены.

Основными эксплуатационными характеристиками АБ, является ее емкость (резервная и номинальная). Прямое измерение резервной и номинальной емкости связано с непосредственным разрядом АБ, что занимает много времени и требует отключения АБ от питаемой ею системы.

Методы оперативной оценки состояния АБ основываются на характеристиках, полученных косвенно, в результате анализа параметров, которые можно измерить достаточно быстро. Основой таких методов являются специальные приборы - анализаторы АБ. Принцип их действия основан на измерении параметров батареи (обычно внутреннего сопротивления) на переменном токе всего за 10-20 секунд. Значения измеренных параметров позволяют оценить техническое состояние и спрогнозировать значения резервной и номинальной емкости аккумуляторной батареи.

Сведения о таких параметрах и их зависимостях от основных эксплуатационных характеристик АБ встречаются в работах таких авторов как А.А. Таганова, Ю.И. Бубнов, С.Б. Орлов, И.Ф. Дантенко, S. Rodrigues (С. Родригес), S. Cheng (С. Ченг), А. Hammouche (А. Хаммоч), Ю.М. Поваров, В.Н. Митькин, Е.А. Нижниковский, И.Ф. Даниленко. Для правильной интерпретации параметров АБ измеренных на переменном токе необходимо знание процессов происходящих в электролите. Теория электрохимического импеданса и физика колебательных процессов в растворах электролитов раскрыта в работах таких ученых, как А.Б. Климин, З.Б. Стойнов, Б.М. Графов, Б. Савова-Стойнова, В.В. Елкин. Проблемы диагностики и неразрушающего контроля так же активно развиваются в работах Ю.М. Вешкурцева, В.Н. Костюкова, В.Ю. Тэттера, В.В. Ключева.

Качественная диагностика АБ методами косвенной оценки ее характеристик по быстро измеримым электрическим параметрам требует знания электрической эквивалентной схемы АБ. В представленной работе проведен анализ существующих эквивалентных схем АБ, обоснован выбор модели АБ в виде последовательной *RLC*-цепи. На основании выбранной модели выбран дополнительный диагностический параметр АБ – характеристическая частота.

Объектами исследования выступают свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.

Предметом исследования являются параметры и характеристики аккумуляторных батарей.

Идея диссертационной работы заключается в совместном измерении параметров активного сопротивления и характеристической частоты аккумуляторной батареи, представленной в виде модели последовательной *RLC*-цепи.

Цель диссертационной работы – разработка метода контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторных батарей, позволяющего повысить достоверность оценки их эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Подбор математической модели аккумуляторной батареи, из известных моделей двухполюсников, адекватно описывающей поведение реальной АБ при эксплуатации и диагностике на переменном токе.

2. Разработка метода контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторной батареи по двум параметрам: активному сопротивлению и характеристической частоте.

3. Разработка метода вычисления характеристической частоты аккумуляторной батареи.

4. Разработка алгоритма автоматической классификации аккумуляторных батарей по степени заряженности и номинальной емкости.

5. Разработка программного обеспечения (ПО) для определения эксплуатационных характеристик АБ по двум параметрам и автоматического определения степени заряженности, номинальной емкости и классификации аккумуляторных батарей.

Методы исследования. При выполнении исследований применялся комплексный подход, основанный на применении теоретических основ электротехники, цифровой обработки сигналов, теории вероятности и математической статистики и методов регрессивного и корреляционного анализа. Обработка экспериментальных данных проводилась на персональном компьютере с помощью программного обеспечения, разработанного в среде LabVIEW, а также с помощью электронных таблиц MS Excel.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод контроля эксплуатационных характеристик АБ по двум параметрам: активному сопротивлению и характеристической частоте.

2. Результаты применения метода контроля эксплуатационных характеристик АБ по двум параметрам: активному сопротивлению и характеристической частоте.

3. Алгоритм вычисления параметра характеристической частоты аккумуляторной батареи.

4. Программное обеспечение и алгоритмы, реализующие метод контроля эксплуатационных характеристик АБ по двум параметрам и алгоритм автоматической классификации АБ.

Научная новизна

1. Метод контроля эксплуатационных характеристик АБ по двум параметрам: активному сопротивлению и характеристической частоте.

2. Результаты вычисления эксплуатационных характеристик аккумуляторной батареи по методу, основанному на использование двух параметров, что повышает достоверность оценки характеристик аккумуляторной батареи.

3. Результаты диагностики аккумуляторных батарей, которые демонстрируют увеличение количества качественных состояний (диагностических классов) АБ.

4. Алгоритм вычисления параметра характеристической частоты аккумуляторной батареи.

Достоверность научных результатов подтверждается результатами моделирования в среде LabView и физическими экспериментами. Алгоритмы обработки данных основаны на известных методах цифровой обработки сигналов, теории вероятности и математической статистики, регрессивного и корреляционного анализа и многократно проверены путем сравнения модельных результатов с результатами физических измерений.

Практическая ценность работы подтверждается следующими достижениями:

1. Результаты диссертационной работы использованы на предприятии ООО «Фирма «Алекто-Электроникс» в части рассмотрения эквивалентной схемы АБ в виде последовательной RLC -цепи, в части методики оценки параметра характеристической частоты АБ и в части методики оценки эксплуатационных характеристик АБ.

2. Результаты диссертационной работы использованы на предприятии ООО «Сфера экономных технологий» в части рассмотрения эквивалентной схемы АБ в виде последовательной RLC -цепи и в части методики оценки эксплуатационных характеристик АБ.

3. Результаты работы были использованы при выполнении следующих тем:

- ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы» государственный контракт № 16.516.11.6091 от 08.07.2011 по теме: «*Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области разработки и создания оборудования для диагностики и эксплуатации энергетического оборудования*».

- Государственное задание Министерства образования и науки Российской Федерации высшим учебным заведениям на 2012 и на плановый период 2013 и 2014 годов в части проведения научно-исследовательских работ по теме № 7.3785.2011 «*Разработка теоретических основ и прикладных аспектов идентификационной алгебры сигналов*».

- Договор № 13227 от 07.11.2013 о выполнении составной части научно-исследовательской работы по теме «*Разработка и натурная отработка методов и алгоритмов обнаружения и классификации малоразмерных объектов, находящихся в водном слое, на дне и захороненных в слое донных осадков*».

4. Программное обеспечение для контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторной батареи по двум параметрам и автоматической классификации аккумуляторных батарей, подлежащее внедрению в технологический процесс производства АБ, станций технического обслуживания АБ и службы контроля состояния АБ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях: всероссийская научно-практическая конференция ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной 15-летию «ИРСИД» (Омск, 2012); восьмая международная научно-техническая конференция «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 2012); международная научная конференция «Молодежь третьего тысячелетия» (Омск, 2012); I всероссийская конференция «Территория и практика Успеха» (Омск, 2013); II всероссийская конференция «Территория и практика Успеха» (Омск, 2014).

Публикации. Основные научные результаты по теме диссертации опубликованы в 17 научных работах, из них в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ – 3, в свидетельствах о регистрации электронных ресурсов – 3, в материалах конференций 11. Лично, без соавторов, выполнено 12 работ.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из четырех глав, введения, заключения, списка литературы из 96 наименований, приложения. Общий объем работы составляет 203 страницы (в том числе 157 страниц основного текста), 80 рисунков, 26 таблиц, 5 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи, показана научная новизна и практическая ценность, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор аккумуляторных батарей различных электрохимических систем, рассмотрены их параметры и методы оценки состояния АБ.

Основными эксплуатационными характеристиками АБ являются резервная и номинальная емкости АБ. Метод прямого измерения этих характеристик АБ заключается в проведении ряда контрольно-тренировочных циклов, длительность каждого из которых может составлять от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от емкости АБ и регламентируемых токов разряда.

АБ, вне зависимости от типа электрохимической системы, обладает множеством быстро измеримых параметров, которые, так или иначе, изменяются в процессе эксплуатации АБ в зависимости от технического состояния, остаточной емкости (степени заряженности) или качества изготовления АБ. К таким параметрам относятся напряжение разомкнутой цепи, плотность электролита (для свинцово-кислотных АБ), внутреннее активное сопротивление или диаграмма импеданса (зависимость реальной составляющей полного комплексного сопротивления от его мнимой составляющей, измеренных на нескольких частотах тестового сигнала).

Для измерения напряжения разомкнутой цепи $U_{НРЦ}$ АБ требуются наиболее простое измерительное оборудование. Этот параметр позволяет оценивать остаточную емкость свинцово-кислотных батарей, что связано с изменением концентрации и электропроводности электролита при их разряде. Для батарей других электрохимических систем использование $U_{НРЦ}$ как диагностического параметра затруднено, так как на значение этого параметра оказывают влияние

множество посторонних факторов, и выделить зависимость $U_{НРЦ}$ от какой-то одной становится достаточно сложной задачей. Некоторая закономерность изменения $U_{НРЦ}$ от остаточной емкости прослеживается только при саморазряде щелочных аккумуляторов.

Изменение концентрации электролита в процессе эксплуатации (в зависимости от остаточной емкости) наблюдается только у свинцово кислотных аккумуляторов, что вызвано высокой степенью разбавления электролита водой, образовавшейся в процессе разряда АБ. Для оценки состояния других типов АБ этот параметр не применяется. Кроме того в настоящее время все чаще используются герметизированные АБ с гелеобразным или адсорбированным в сепаратор электролитом плотность которых измерить не представляется возможным.

Измерение внутреннего сопротивления АБ требует более сложного оборудования. Согласно государственным стандартам РФ этот параметр может измеряться двумя способами: 1) измерением напряжений под нагрузкой разной величины, или 2) путем пропускания через батарею переменного тестового сигнала частотой 1000 Гц и последующей оценки действующего значения падения напряжения сигнала на батарее. Этот параметр считается наиболее универсальным и информативным для АБ всех электрохимических систем. Параметр внутреннего сопротивления может содержать информацию о техническом состоянии и остаточной емкости АБ. Однако в зависимости от остаточной емкости щелочных аккумуляторов их внутреннее сопротивление изменяется незначительно, что повышает требовательность к точности измерительного оборудования и снижает достоверность оценки степени заряженности щелочных АБ.

Диаграмма импеданса в первую очередь характеризует эквивалентную схему замещения АБ, в основном ее реактивные элементы. Для построения диаграммы импеданса измеряется несколько значений реальной и мнимой составляющих полного комплексного сопротивления на разных частотах тестового сигнала в диапазоне от кГц до сотых Гц. Оценка состояния АБ по диаграмме импеданса заключается в визуальном анализе формы диаграммы. С изменением состояния АБ диаграмма изменяется, сохраняя общий характер зависимости. Однако оценить состояние АБ по этому параметру способен только специалист, имеющий внушительный опыт анализа подобных диаграмм. Кроме того, при измерении значений диаграммы в нижней полосе диапазона частот (сотые доли Гц) время их измерения значительно возрастает.

Проведенный анализ быстро измеримых параметров АБ показал, что наиболее информативным и легко обрабатываемым параметром является внутреннее сопротивление АБ. Общим недостатком методов оперативной оценки состояния АБ становится использование одного диагностического параметра, в результате чего достоверность оценки эксплуатационных характеристик АБ не высока.

Во второй главе проведены исследования параметров модуля полного комплексного, активного и реактивного сопротивлений, а так же угла разности фаз тока и напряжения тестового сигнала. Параметры измерялись на переменном тестовом сигнале на разных частотах в диапазоне 20-1000 Гц. В исследовании участвовали свинцово-кислотные батареи различных типоразмеров и номинальных емкостей.

По результатам исследований частотных зависимостей модуля полного комплексного и реактивного сопротивлений АБ из известных моделей двухполюсников была выбрана модель аккумуляторной батареи в виде последовательной RLC -цепи (рис. 1).

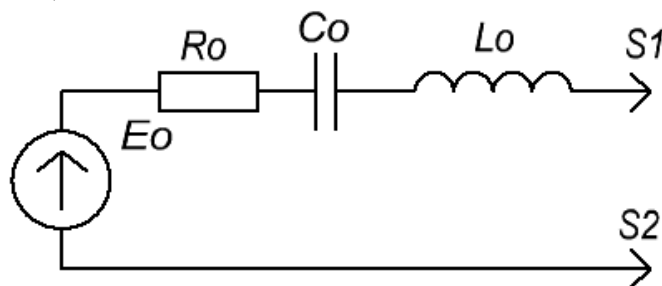


Рис. 1. Эквивалентная схема АБ в виде последовательной RLC -цепи

Сопротивление R_0 определяется сопротивлением активных масс электродов и электролита. Емкость C_0 характеризует двойной электрический слой (ДЭС) находящийся на границе между электродом и раствором электролита. Индуктивность L_0 связана с инерционными свойствами движения гидратированных ионов, обеспечивающих протекание переменного электрического тока и индуктивность соединительных проводников и выводов АБ.

Целесообразность использования модели АБ в виде последовательной RLC -цепи подтверждают высокие значения коэффициентов корреляции частотных зависимостей модуля полного ($\rho = 0,99$) и реактивного ($\rho = 0,99$) сопротивлений, полученных на реальной батарее и соответствующей ей по параметрам модели.

В ходе анализа частотных характеристик реактивного сопротивления было обнаружено, что частота перехода графика зависимости реактивного сопротивления через ноль (*характеристическая частота АБ*) для разных типов АБ принимает разные значения (рис. 2). При этом прослеживается обратная зависимость: чем выше номинальная емкость батареи, тем ниже значение ее характеристической частоты.

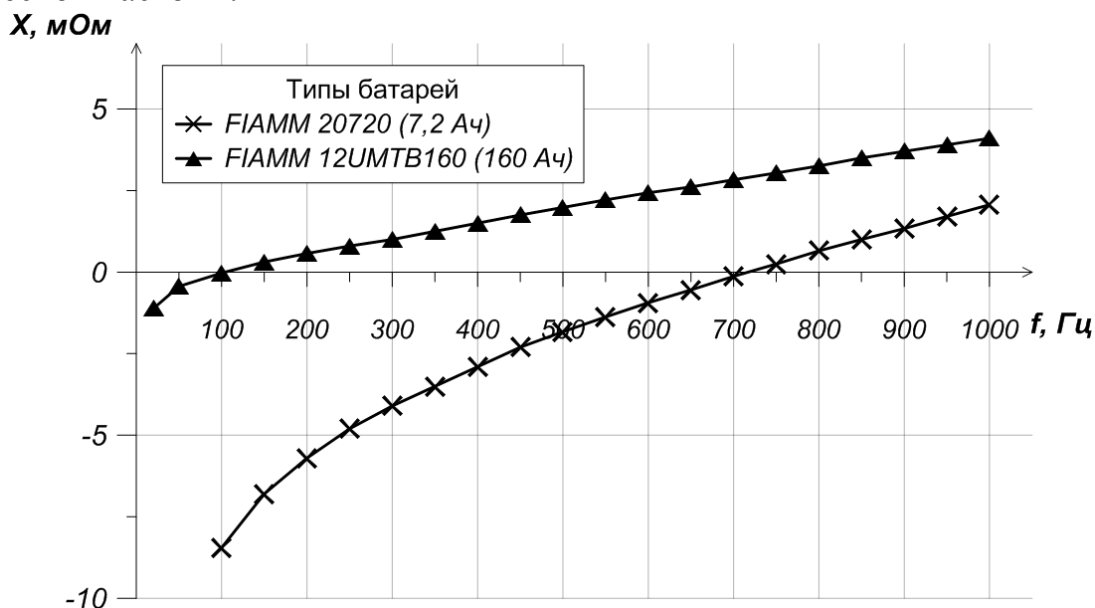


Рис. 2. Частотные зависимости реактивного сопротивления АБ

Прямое измерение частоты перехода через ноль реактивного сопротивления последовательной RLC -цепи связано с подбором такой частоты тестового

сигнала, при которой значение реактивного сопротивления максимально приблизится к нулевому значению. Точность измерения при таком методе равна величине шага подстройки частоты тестового сигнала и повышение точности (уменьшение шага) повлечет за собой увеличение числа измерений и, как следствие, общего времени измерения. В связи с этим был разработан алгоритм оперативного вычисления характеристической частоты, основанный на автоматической интерполяции частотной зависимости реактивного сопротивления. Выполняется это подбором коэффициентов функции, эквивалентной выражению реактивного сопротивления последовательной RLC -цепи

$$X(f) = a + bf + c \frac{1}{f} \quad (1)$$

где a , b и c – подбираемые коэффициенты уравнения (1); f – частота тестового сигнала; $X(f)$ – значение реактивного сопротивления, измеренное на частоте f .

Характеристическая частота вычисляется как один из корней функции (1).

Исследование параметров активного сопротивления и характеристической частоты и их зависимостей от основных эксплуатационных характеристик (резервной и номинальной емкостей) позволили подобрать функции, достаточно точно описывающие этих зависимости и методом наименьших квадратов подобрать их коэффициенты. Резервная емкость C_R – фактическое время разряда (мин.), в течение которого батарея может иметь разрядный ток 25 А до конечного напряжения 10,5 В. Номинальная 20-часовая емкость C_{20} – расчетное количество электричества (Ач), которое может отдать полностью заряженная батарея в течение 20 часов разряда номинальным током I_n до конечного напряжения 10,5 В. Зависимость резервной емкости C_R от активного сопротивления R для батарей различного типа представлена на рис. 3.

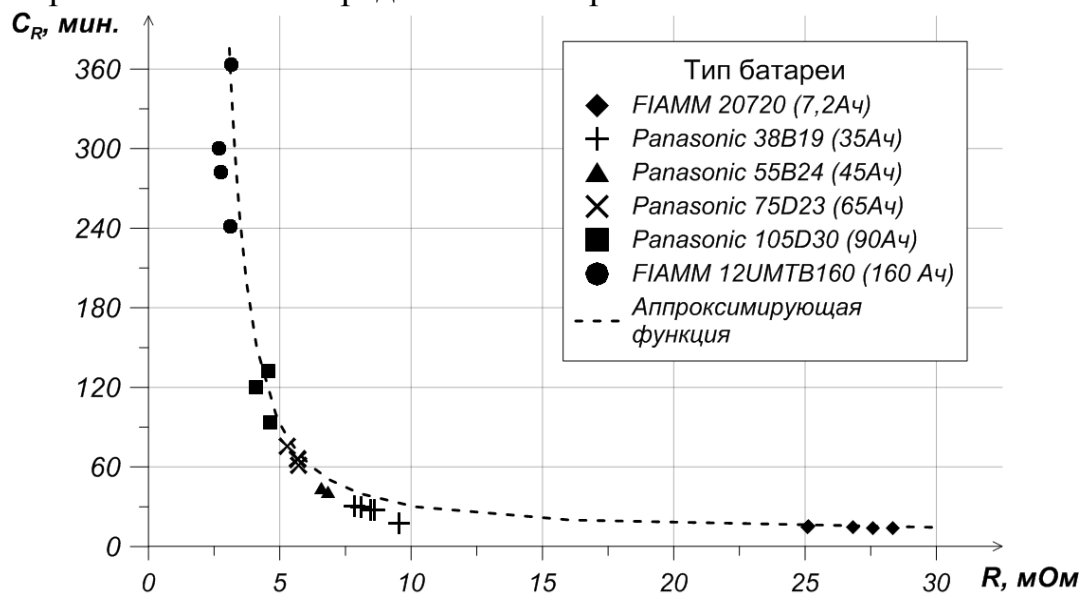


Рис. 3. Зависимость резервной емкости от активного сопротивления
Уравнение для вычисления резервной емкости C_R имеет вид:

$$C_R = \exp\left(\frac{1 - a_1 R}{b_1 R}\right) \quad (2)$$

где R – активное сопротивление АБ; $a_1 = -0,2$ и $b_1 = 0,1$ – коэффициенты уравнения (2). Среднеквадратическое отклонение (СКО) аппроксимации $\sigma_{CR} = 10$ мин.

Зависимость номинальной емкости C_{20} от активного сопротивления R показана на рис. 4.

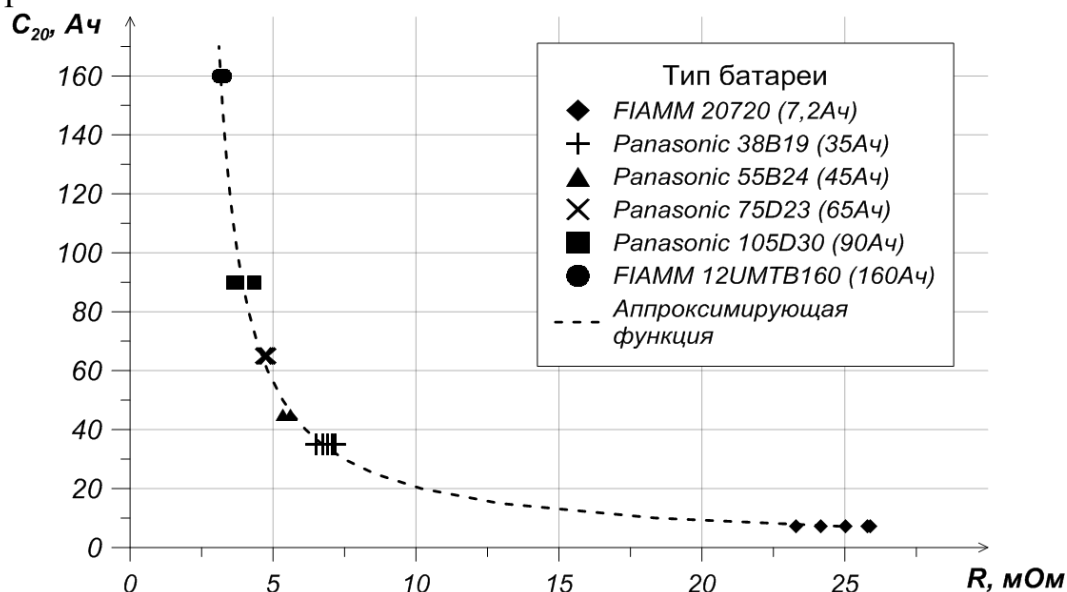


Рис. 4. Зависимость номинальной емкости от активного сопротивления
Номинальная емкость C_{20} выражается уравнением:

$$C_{20} = \frac{b_2}{R - a_2} \quad (3)$$

где $a_2 = 2,2$, $b_2 = 170$ – коэффициенты уравнения (3). СКО аппроксимации $\sigma_{C20} = 8$ Ач.

Зависимость резервной емкости C_R от характеристической частоты F_C имеет вид (рис. 5).

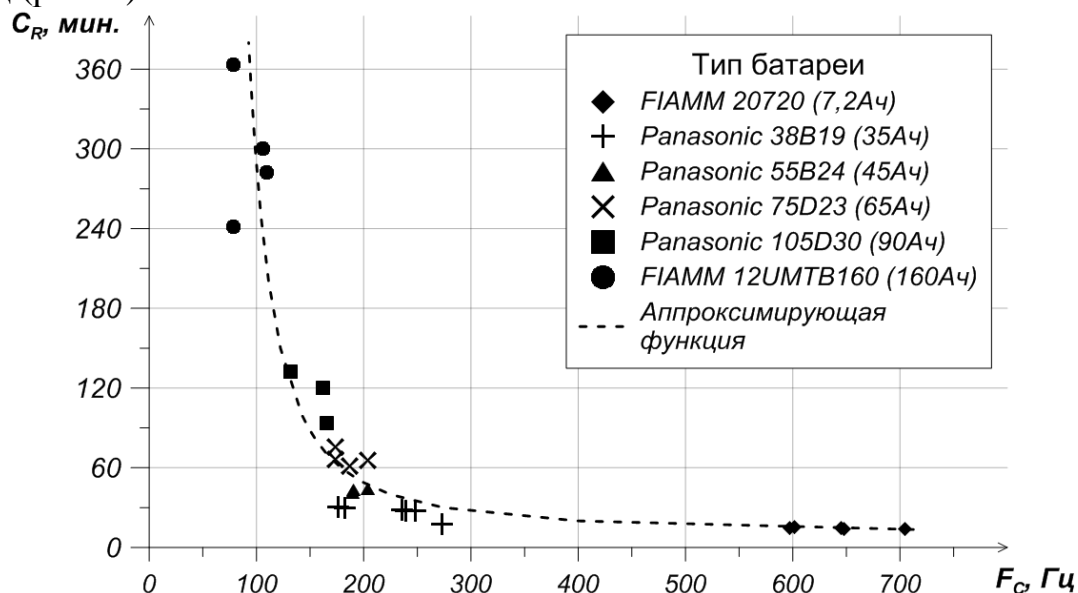


Рис. 5. Зависимость резервной емкости от характеристической частоты
Резервная емкость выражается как:

$$C_R = \exp\left(\frac{1 - a_3 F_C}{b_3 F_C}\right) \quad (4)$$

где F_C – характеристическая частота; $a_3 = -0,01$ и $b_3 = 0,003$ – коэффициенты уравнения (4). СКО аппроксимации $\sigma_{CR} = 27$ мин.

Зависимость номинальной емкости C_{20} от характеристической частоты F_C представлена на рис. 6.

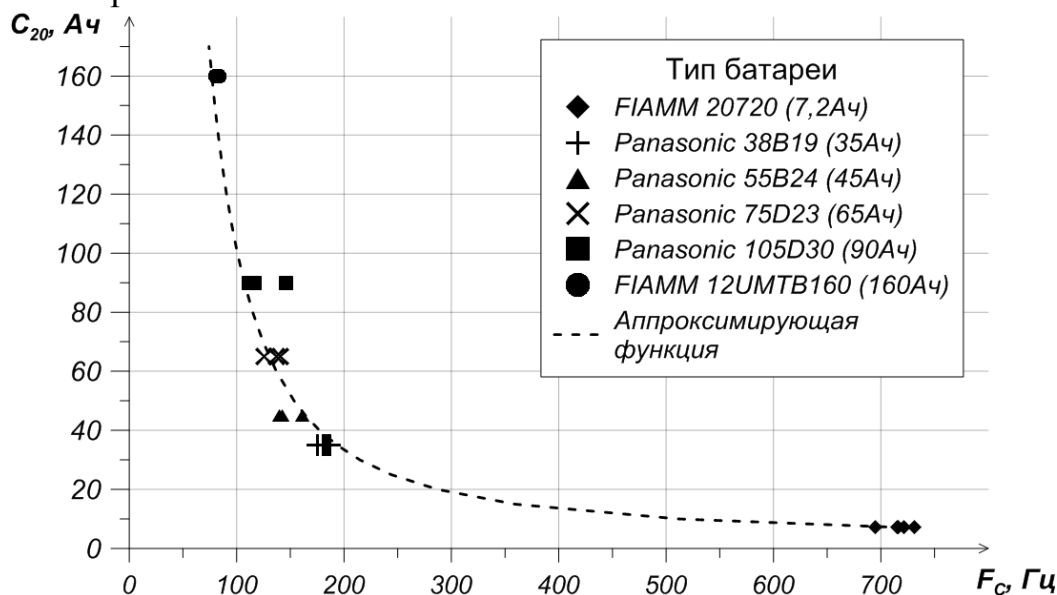


Рис. 6. Зависимость номинальной емкости от характеристической частоты
Зависимость на рис. 5 описывается уравнением:

$$C_{20} = \left(\frac{1 - a_4 F_C}{b_4 F_C} \right)^2 \quad (5)$$

где $a_4 = -0,002$, $b_4 = 0,001$ – коэффициенты уравнения (5). СКО аппроксимации $\sigma_{C20} = 8$ Ач.

На основе уравнений (2), (3), (4), (5) разработан алгоритм оценки эксплуатационных характеристик АБ при совместном использовании параметров активного сопротивления и характеристической частоты. Принцип его действия заключается в вычислении среднего значения эксплуатационных характеристик, вычисленных по каждому из параметров в отдельности. Предложенный алгоритм позволяет повысить достоверность оценки характеристик АБ за счет увеличения числа результатов оценки по двум независимым параметрам и, как следствие, уменьшить стандартную ошибку среднего в 1,4 раза.

В третьей главе описан алгоритм автоматической классификации и использование его для автоматического определения степени заряженности, номинальной емкости и классификации аккумуляторных батарей одной номинальной емкости по их качеству.

Принцип работы алгоритма заключается в определении положения измеренной величины (классификационного параметра) относительно реперных точек (меток) заранее заданной шкалы. Каждой реперной точке (метке) шкалы присваивается условный порядковый номер (индекс) – *ранг*. Затем для каждого значения измеренной величины формируется список рангов реперных точек (множество, состоящее из индексов реперных точек шкалы), с упорядоченностью (порядком распределения индексов реперных точек шкалы в этом множестве) свойственной только этому значению. Далее определяется степень упоря-

доченности этого списка, которая выражается в числе M_k принадлежащем отрезку $[-1;1]$.

В первую очередь составляется шкала упорядоченных реперных точек со значениями, равномерно распределенными в диапазоне измеряемой величины. Для этой шкалы составляются «прямой» (реперные точки упорядочены по возрастанию их значений) и «обратный» (реперные точки упорядочены по убыванию их значений) списки их рангов. Для измеренного значения составляется уникальный список рангов реперных точек. Для этого вычисляются абсолютные значения разностей ΔA_N измеренной величины A и каждой из реперных точек B_N

$$\Delta A_N = |B_N - A|$$

где $N = 1, 2, \dots, k$ – порядковый номер (ранг) реперной точки; B_N – значение N -той реперной точки; k – количество реперных точек в шкале.

Полученные значения разностей ΔA_N ранжируются по возрастанию, а из их индексов N формируется список рангов реперных точек, свойственный измеренной величине A .

Полученный список сравнивается с эталонными «прямым» $(1, 2, \dots, k)$ и «обратным» $(k, \dots, 2, 1)$ списками рангов реперных точек. Для этого вычисляются суммы ΔNd и ΔNr абсолютных разностей элементов с одинаковыми индексами i ($i = 1, 2, \dots, k$) в полученном выше и эталонном «прямом» или «обратном» списках

$$\Delta Nd = \sum_{i=1}^k (|Nd_i - N_i|)$$

$$\Delta Nr = \sum_{i=1}^k (|Nr_i - N_i|)$$

где Nd_i и Nr_i – значения i -того элемента «прямого» и «обратного» списка рангов реперных точек соответственно; N_i – значение i -того элемента списка рангов реперных точек измеренного значения A .

Далее вычисляется разница ΔN полученных значений ΔNd и ΔNr

$$\Delta N = \Delta Nd - \Delta Nr$$

Значение разницы ΔN характеризует степень отклонения списка рангов измеренного значения к «прямому» или «обратному» спискам рангов реперных точек. А знак значения ΔN определяет, направление этого отклонения. Положительные значения ΔN говорят об отклонении в сторону «прямого» списка, а отрицательные в сторону «обратного».

Следующим шагом вычисляется расстояние ΔN_B между «прямым» и «обратным» списками рангов реперных точек

$$\Delta N_B = \sum_{i=1}^4 (|Nd_i - Nr_i|)$$

Значение ΔN_B используется для вычисления относительного отклонения M списка рангов измеренного значения к эталонным спискам реперных точек

$$M = \frac{\Delta N}{\Delta N_B}$$

Относительное отклонение M говорит о степени отклонения измеренного значения от значений крайних реперных точек шкалы. Так, например, значение $M = 0,25$ говорит о том, что измеренное значение A на 25% принадлежит множеству «прямого» списка реперных точек. На принадлежность именно к «прямому» списку указывает положительный знак параметра M .

В результате обработки измеренного значения A описанным выше методом для него вычисляется значение параметра M , указывающее на принадлежность величины A к определенному классу.

При вычислении параметра M по величине резервной емкости C_R для нескольких батарей была получена следующая зависимость (рис. 7). При делении отрезка $M [-1,1]$ на 3 диапазона, получено 3 класса, соответствующие текущему состоянию батареи.

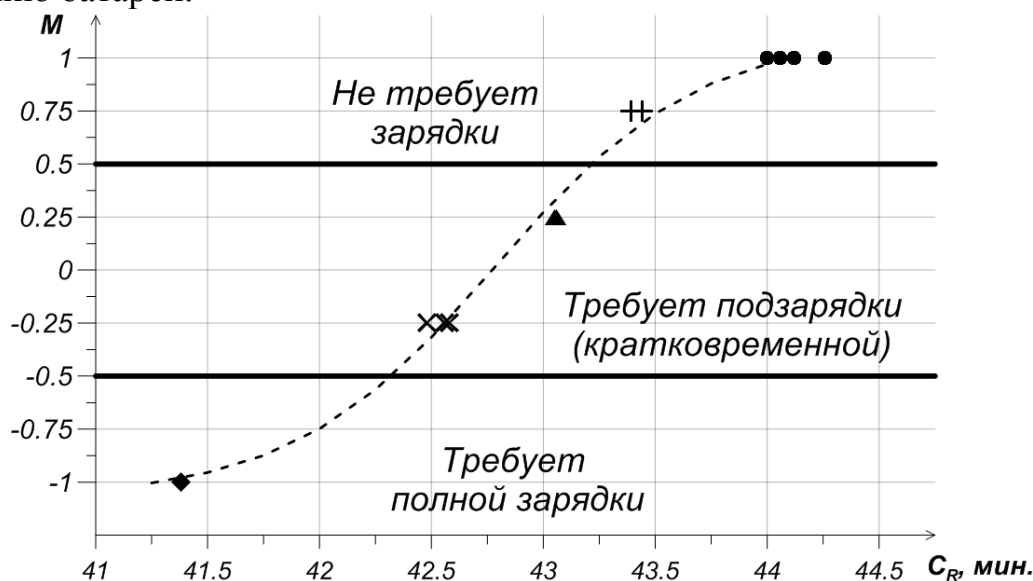


Рис. 7. Зависимость параметра M от резервной емкости C_R

На основании полученных результатов описанный выше алгоритм был использован для классификации батарей по их степени заряженности и номинальной емкости. В качестве классификационного параметра был выбран параметр активного сопротивления АБ. Подобраны шкалы реперных точек для батарей находящихся в различных степенях заряженности. Также алгоритм позволяет классифицировать батареи с целью оценки их качественного состояния относительно батарей той же номинальной емкости.

В четвертой главе по результатам исследований разработано программное обеспечение, позволяющее вычислять значения характеристик АБ (резервной и номинальной емкостей) по параметрам активного сопротивления и характеристической частоты. Кроме того, разработанное программное обеспечение позволяет производить классификацию батарей одного типа (номинальной емкости) с предварительным определением их типа и степени заряженности. В комплект разработанного ПО входят две независимые программы.

Одна из них – «Измеритель параметров АБ». Лицевая панель ПО приведена на рис. 8.

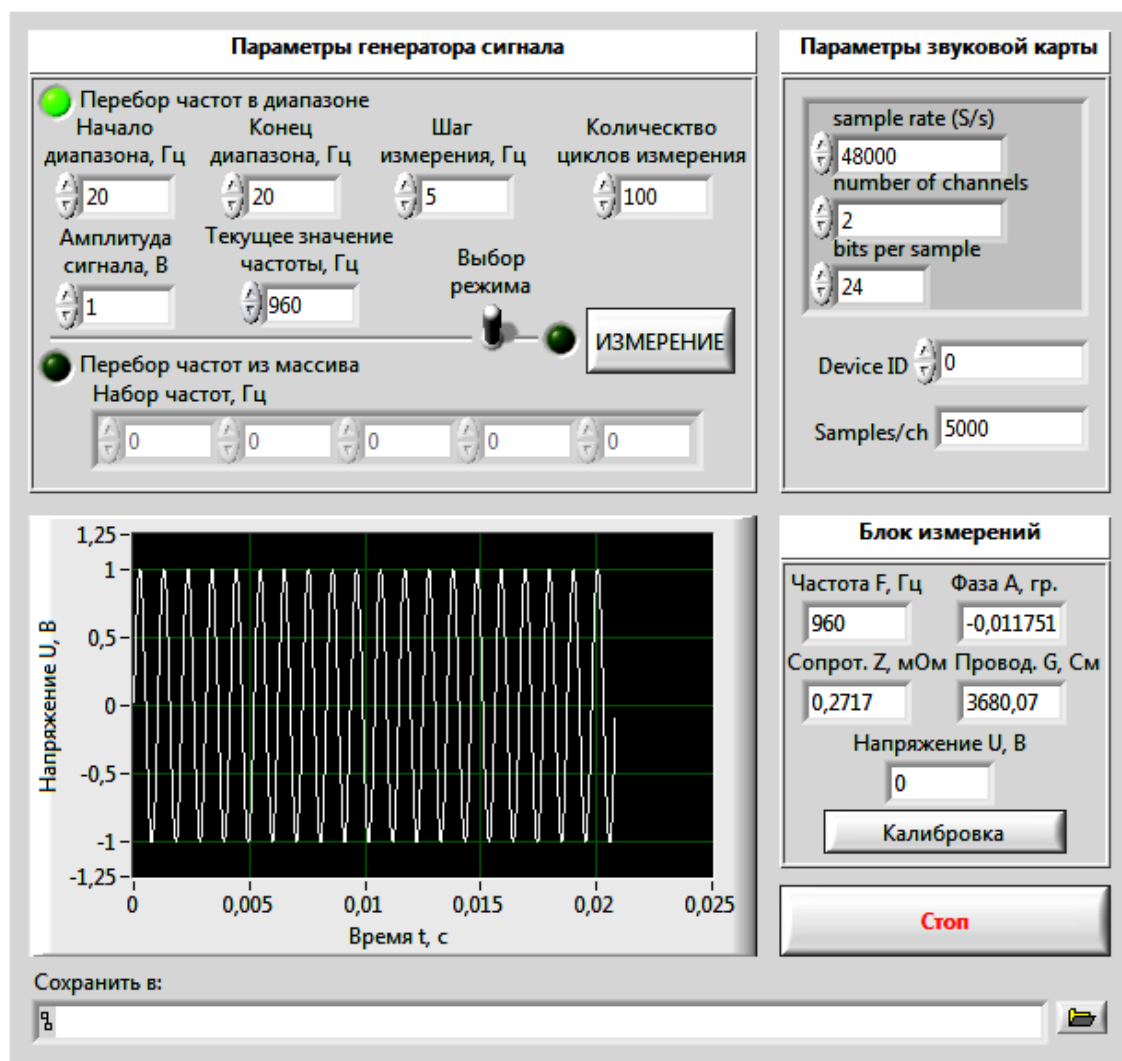


Рис. 8. Интерфейс программы «Измеритель параметров АБ»

Программа «Измеритель параметров АБ» позволяет производить измерения модуля полного, активного и реактивного сопротивлений, угла разности фаз тока и напряжения тестового сигнала, проходящего через исследуемый объект и напряжения разомкнутой цепи. Генерация тестового сигнала и измерения его амплитуд и фаз выполняются посредством звуковой карты персонального компьютера. Алгоритм программы позволяет ввести в схему измерения разделительный конденсатор, измерять параметр напряжения разомкнутой цепи. Так же имеется возможность измерения параметров на нескольких частотах тестового сигнала для изучения частотных зависимостей параметров АБ. Имеется возможность сохранять результаты измерений в файл с расширением .txt. Алгоритм работы модифицированного ПО приведен на рис. 9.

Вторая часть ПО - «Анализатор АБ». Его лицевая панель приведена на рис. 10. «Анализатор АБ» позволяет вычислять значения эксплуатационных характеристик АБ. Кроме того программа «Анализатор АБ» посредством алгоритма классификации, производит определение степени заряженности АБ, номинальной емкости батареи и присваивает ей один из четырех классов качества.

Параметры АБ, необходимые для вычисления характеристик и их классификации, предварительно записываются в файл формата .txt.

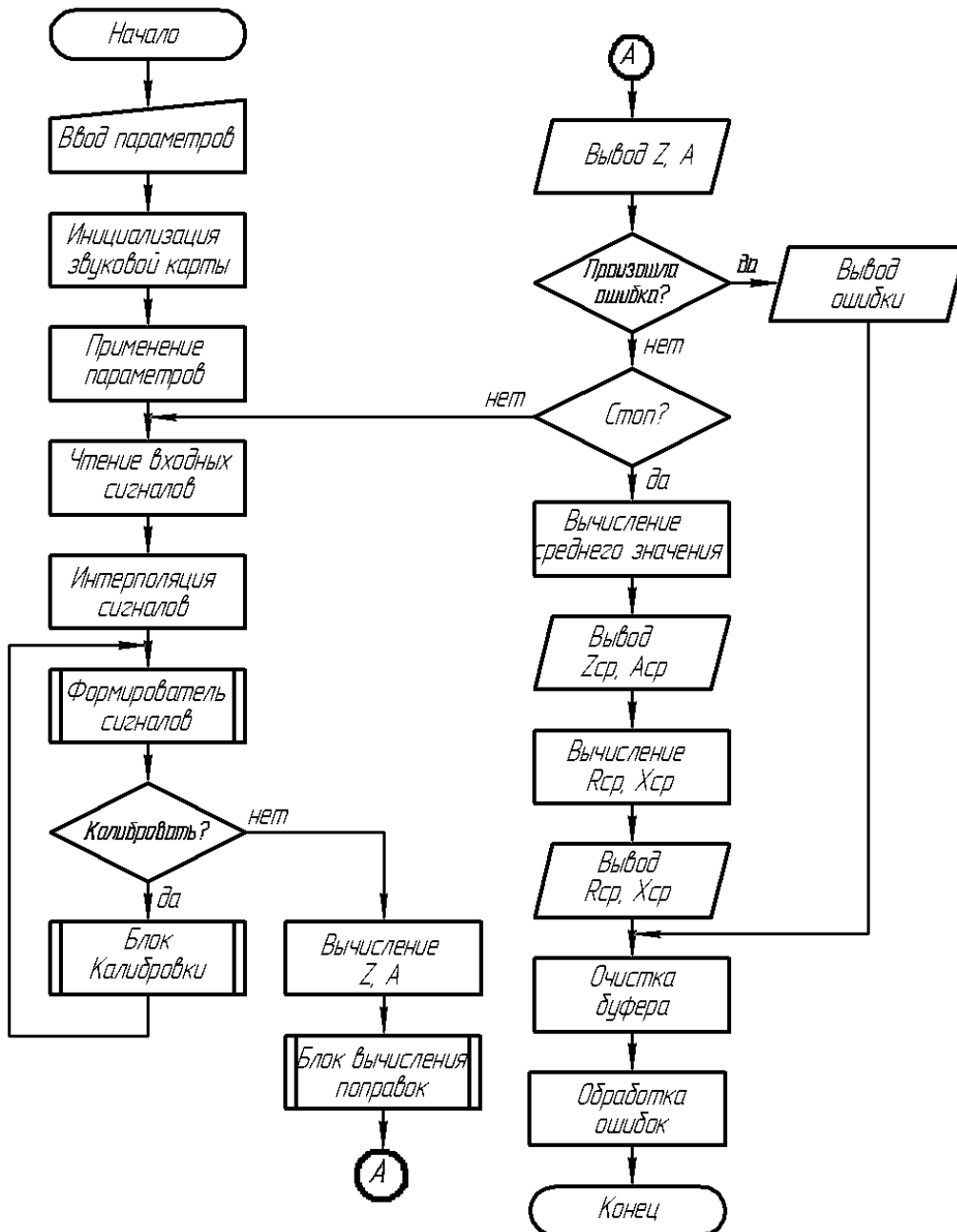


Рис. 9. Блок схема алгоритма программы «Измеритель параметров АБ»

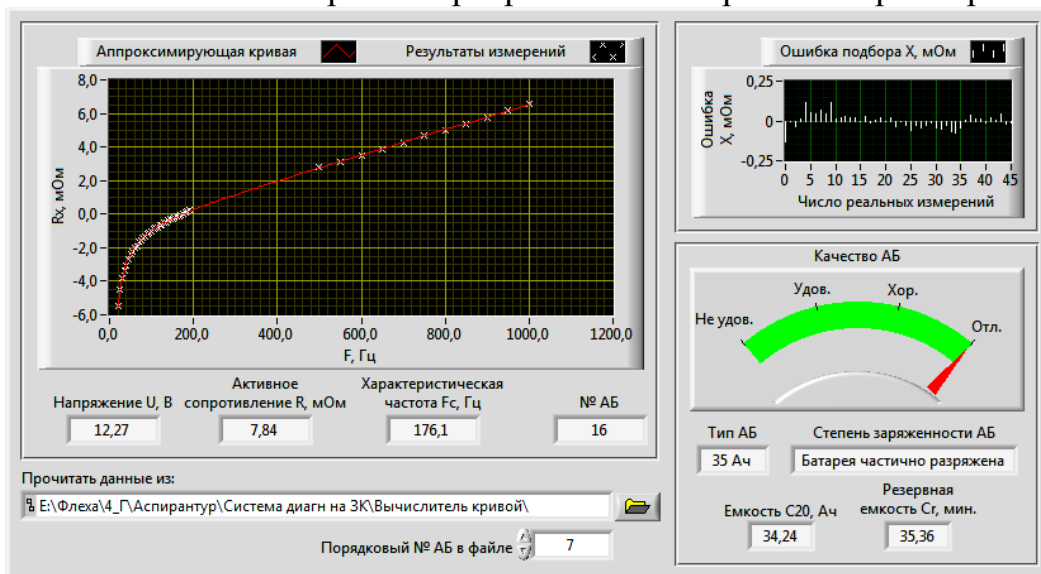


Рис. 10. Интерфейс программы «Анализатор АБ»

По имеющимся значениям параметров программа вычисляет значение характеристической частоты, а затем и значения резервной и номинальной емкостей. По параметру активного сопротивления определяется тип и степень заряженности АБ, а также класс диагностируемой батареи относительно других батарей того же класса.

Алгоритм программы вычисления эксплуатационных характеристик АБ приведен на рис. 11а, алгоритм программы классификации приведен на рис. 11б.

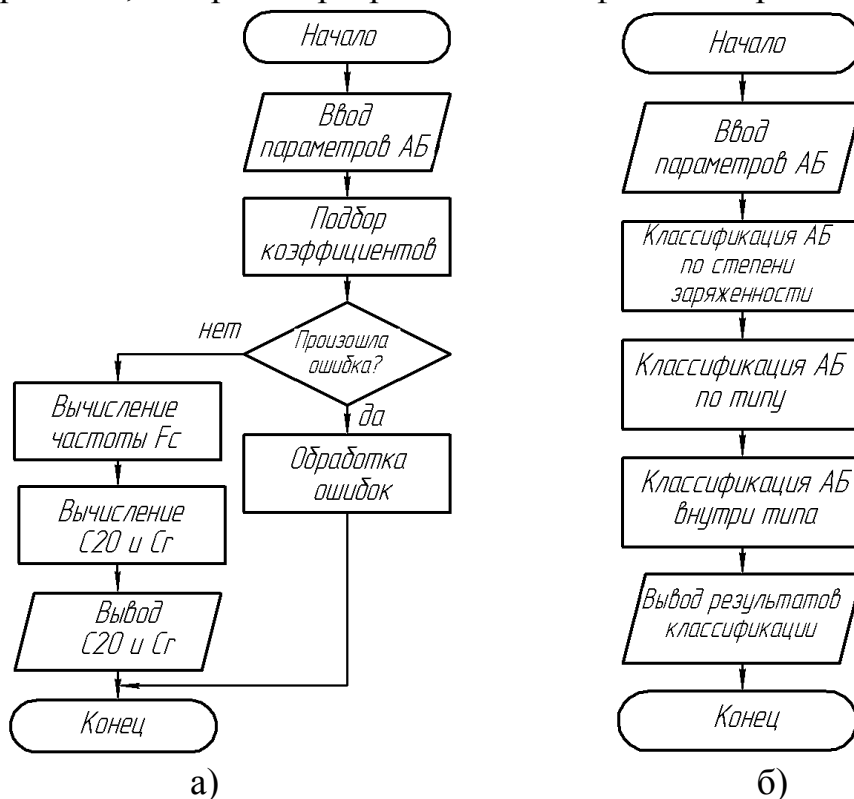


Рис. 11. Блок-схема алгоритма программы для вычисления значений C_{20} и C_R (а) и алгоритм программы классификации АБ (б)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации изложены имеющиеся на сегодняшний день теоретические и практические разработки в области оценки состояния аккумуляторных батарей косвенным образом по значениям быстро измеримых параметров АБ. В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие основные результаты:

1. Обосновано использование модели АБ в виде последовательной RLC -цепи.
2. Разработан метод оценки резервной и номинальной емкостей по активному сопротивлению и характеристической частоте, измеряемым на основе предложенной модели RLC -цепи, который позволяет вычислять значение резервной емкости батареи с точностью от 5 до 8 Ач, значение номинальной емкости с точностью от 4,5 до 7 Ач для батарей емкостью менее ~ 80 Ач. Для батарей емкостью более ~ 80 Ач – от 10 до 83 Ач и 9 Ач соответственно. Использование двух независимых параметров позволяют повысить достоверность оценки эксплуатационных характеристик АБ путем уменьшения стандартной ошибки среднего в 1,4 раза.
3. Разработан метод вычисления характеристической частоты АБ, на основе предложенной модели RLC -цепи. Метод позволяет вычислять характеристиче-

скую частоту всего по 4 точкам частотной зависимости реактивного сопротивления, при этом абсолютная погрешность вычисления параметра характеристической частоты не превышает 4 Гц.

4. Разработана методика классификации АБ, позволяющая выделить диагностические классы батарей, соответствующие степени ее заряженности, номинальной емкости и ее качеству относительно других батарей той же номинальной емкости. Количество диагностических классов расширено по параметру активного сопротивления до 24 классов (6 классов по номинальной емкости АБ, 4 класса по качеству внутри каждого из 6-ти классов номинальной емкости) и по параметру напряжения разомкнутой цепи до 3 классов.
5. Разработано программное обеспечение для измерения напряжения разомкнутой цепи и параметров полного, активного и реактивного сопротивлений, а также угла разности фаз тока и напряжения переменного тестового сигнала разных частот, протекающего по АБ.
6. Разработано программное обеспечение для определения эксплуатационных характеристик аккумуляторной батареи по двум параметрам и автоматического определения степени заряженности, номинальной емкости и классификации аккумуляторных батарей одной номинальной емкости по их качеству.

Полученные результаты диссертационной работы позволяют создать систему оперативного контроля эксплуатационных характеристик АБ, которая может быть внедрена в технологический процесс производства АБ, станций технического обслуживания АБ и службы контроля состояния АБ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Чупин, Д.П. Исследование методов диагностики аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Омский научный вестник. – № 1 (117) – 2013. – С. 253-257.
2. Чупин, Д.П. Исследование мотора Бедина в качестве зарядного устройства для аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Омский научный вестник. – № 2 (130) – 2014. – С. 200-203.
3. Чупин, Д.П. Способ лингвистической интерполяции результатов измерения / Ю.Н. Кликушин, В.Ю. Кобенко, Д.П. Чупин // Омский научный вестник. – № 2 (130) – 2014. – С. 191-194.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

4. Чупин, Д.П. Метод диагностики аккумуляторных батарей / Ю.Н. Кликушин, В.Ю. Кобенко, Д.П. Чупин. – М.: ИНИПИ ОФЭРНиО, 2012. – рег. № 50201250384.
5. Чупин, Д.П. Параметры аккумуляторных батарей. База данных / Д.П. Чупин. – М.: ИНИПИ ОФЭРНиО, 2014. – рег. № 50201450511.
6. Чупин, Д.П. Алгоритм сегментации изображений подводных объектов / Ю.Н. Кликушин, В.Ю. Кобенко – М : ИНИПИ ОФЭРНиО, 2012. – № 50201450559.

Материалы конференций

7. Чупин Д.П. Резонансный метод измерения внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Электроэнергетика и приборостроение: со-

- временное состояние, перспективы развития и подготовка кадров : материалы международной науч.-практ. конф. Т. 1. – Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2011. – С. 61-63.
8. Чупин Д.П. Методы диагностики аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Измерение, контроль, информатизация: Материалы Тринадцатой Международной науч.-техн. конф. Т. 1. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – С.164-168.
 9. Чупин Д.П. Метод оперативной оценки емкости аккумуляторных батарей / Ю.Н. Кликушин, Д.П. Чупин // Измерение, контроль, информатизация: Материалы Тринадцатой Международной науч.-техн. конф. Т. 1. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – С.158-161.
 10. Чупин Д.П. Метод оценки параметров аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной 15-летию ИРСИД. – Омск: Изд-во КАН, 2012. – С.205-207.
 11. Чупин Д.П. Метод определения емкости аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. (Омск, 13-15 ноября 2012 г.) : в 5 кн. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012: Кн. 1. – С.342-345.
 12. Чупин Д.П. Система диагностики аккумуляторных батарей на базе звуковой карты ПК / Д.П. Чупин, А.А. Чепель // Измерение, контроль, информатизация: Материалы XIV Международной науч.-техн. конф. Т. 1./ под. ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С.128-130.
 13. Чупин Д.П. Динамическая компенсация погрешностей в системе оперативной диагностики аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио. – Омск: Изд-во «Полиграфический центр КАН», 2013. – С.199-202.
 14. Чупин Д.П. Влияние измерительных щупов на результаты измерений внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность! : материалы V Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием : в 3 кн. / [отв. ред. А.В. Косых]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – С.247-250.
 15. Чупин Д.П. Система оперативной диагностики аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Тезисы I Всероссийской конференции "Территория и практика Успеха". – Омск, 2013. – С.151-152.
 16. Чупин Д.П. Проведение экспериментальных исследований с использованием анализатора аккумуляторных батарей АЕА30V / Д.П. Чупин // Природные и интеллектуальные ресурсы Омского региона (Омскресурс-3-2013) : Материалы III Межвуз. науч. конф. студ. и аспирантов. (Омск, 11-12 дек. 2013 г.) / ОмГТУ ; [отв. ред. Т.П. Ковтун, А.А. Начвина]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – С.133-135.
 17. Чупин Д.П. Система автоматической диагностики аккумуляторных батарей / Д.П. Чупин // Тезисы II Всероссийской конференции "Территория и практика Успеха". – Омск, 2014. – С.145-146.